

# 长江口深水航道灯浮标位置推算

陈麒龙

(集美大学理学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了缩短长江口深水航道灯浮标的复位时间, 需实现灯浮标移位预警。运用乘积季节模型推算长江口深水航道的灯浮标未来24 h的位置, 然后进行移位判定, 并验证移位预警效果。结果表明, 该方法对灯浮标位置地推算较为准确, 误差在可接受范围内, 移位预警效果较好。

[关键词] 灯浮标; 深水航道; 位置推算; 乘积季节模型; 长江口

[中图分类号] U 644.8; O 212.1

## Position Prediction of Light Buoy in Yangtze Estuary Deepwater Fairway

CHEN Qilong

(School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In order to shorten the reset time of the light buoy in the Yangtze Estuary deep water fairway, it is necessary to have early warning on possible dislocation of the light buoy. For this reason, a method based on multiplicative seasonal model is used to calculate the position of the light buoy in Yangtze Estuary deepwater fairway, and make judgement on dislocation. The result shows that the method can predict the position of light buoy with acceptable accuracy, and the effect of dislocation forewarning is good.

**Keywords:** light buoy; deepwater fairway; position prediction; multiplicative seasonal model; Yangtze Estuary

## 0 引言

航标遥测遥控系统通过远程终端单元(remote terminal unit, RTU), 以固定的时间间隔采集卫星定位、电压、电流、温度等数据, 并上传到数据中心; 数据中心依据预设的阈值对数据进行判定, 识别灯浮标是否发生移位报警。发生移位报警的灯浮标必须在规定时间内复位, 如果能够预测未来24 h灯浮标的位置, 实现移位预警, 就能有效缩短灯浮标复位时间。文献[1]分析了风和潮汐对灯浮标移位地影响; 文献[2]提出了波浪对浮体作用力的计算公式; 文献[3-4]提出了求解流体(波浪和水流)与浮体相互作用力的算法。以上方法受限于风、潮汐、波浪、水流等因素的影响, 实时数据难以获取, 虽然理论可行, 但是实用性不足。现有的移动对象位置预测模型有: 马尔科夫模型、高斯混合模型、神经网络等, 通常运用于车、船、人的位置预测<sup>[5-10]</sup>。灯浮标的移位过程是一个周期性渐变过程, 乘积季节模型适合对具有趋势和周期效应的时序数据进行预测, 因此, 本文利用该模型对长江口深水航道灯浮标位置进行预测。

[收稿日期] 2019-02-12

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41501490); 福建省本科高校教育教改项目(JZ160302)

[作者简介] 陈麒龙(1988—), 男, 助理实验师, 从事数据建模与应用统计研究。

1 乘积季节模型原理

如果等时距的时序数据  $\{x_t\}$  是非平稳的，且同时存在趋势效应和季节效应（周期为  $S$ ）。如果  $S$  步  $D$  阶差分可消除季节效应， $d$  阶差分可消除趋势效应，且差分后的序列  $\nabla^d \nabla_S^D x_t$  平稳，则可对其非季节部分用  $M_{\text{ARIMA}}(p,d,q)$  模型提取，对其季节部分用  $M_{\text{ARIMA}}(P,D,Q)_S$  模型提取，具有乘积关系： $M_{\text{ARIMA}}(p,d,q) \times (P,D,Q)_S$ ，用后移算子描述为： $\nabla^d \nabla_S^D x_t = \theta(B) \theta_S(B) \omega_t / [\varphi(B) \varphi_S(B)]$ 。其中： $d$  为趋势差分阶数； $D$  是季节差分阶数； $S$  是季节差分步长； $\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \cdots - \varphi_p B^p$ ； $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \cdots - \theta_q B^q$ ； $\varphi_S(B) = 1 - \varphi_1 B^S - \cdots - \varphi_p B^{pS}$ ； $\theta_S(B) = 1 - \theta_1 B^S - \cdots - \theta_q B^{qS}$ ； $p$  是  $\varphi(B)$  的相关系数； $q$  是  $\theta(B)$  的偏自相关系数； $P$  是  $\varphi_S(B)$  的自相关系数； $Q$  是  $\theta_S(B)$  的偏自相关系数。差分的阶数  $D$  和  $d$  可通过 ADF（augmented dickey-fuller）检验来确定；残差序列的纯随机性可以通过 LB（ljung-box）检验来确定； $\varphi(B)$ 、 $\theta(B)$ 、 $\varphi_S(B)$  和  $\theta_S(B)$  的参数采用最小二乘法估计法来估计<sup>[11-12]</sup>。

2 建模与应用

2.1 数据预处理

只有等时距的时序数据才能进行建模，而航标遥测遥控系统的数据往往存在缺失和冗余现象，需要进行预处理。以长江口深水航道的“35 号灯浮标”20181231 的数据为例，航标遥测数据如表 1 所示。

表 1 航标遥测数据预处理  
Tab. 1 Navigation mark telemetry data preprocessing

序号 Serial number	接收时间 Receiving time	经度 Longitude /(°)	纬度 Latitude /(°)	移位距离 Distance/m	真方位角 Azimuth/(°)	遥测数据状态 Telemetry data status	报警级别 Alarm level
1	0:20	121.882 545	31.267 827	28.20	248.25	正常 Normal	
2	1:20	121.882 642	31.267 830	25.76	90.69	正常 Normal	
3	2:20	121.882 852	31.267 783	39.68	126.65	正常 Normal	
4	3:20	121.883 013	31.267 735	56.49	137.54	正常 Normal	
5	4:20					缺失 Missing	
5*	4:20	121.883 107*	31.267 717*	65.98*	142.15*	正常 Normal*	
6	5:20	121.883 130	31.267 715	68.18	143.31	正常 Normal	一级 L1
7	6:20	121.883 115	31.267 712	67.11	142.16	正常 Normal	一级 L1
8	7:20	121.883 058	31.267 737	60.14	140.92	正常 Normal	一级 L1
9	8:20	121.882 542	31.267 875	22.65	241.47	正常 Normal	
10	9:20	121.882 198	31.267 997	49.21	184.73	正常 Normal	
11	10:20	121.881 893	31.268 048	83.04	358.15	正常 Normal	二级 L2
12	11:20	121.881 878	31.268 047	84.71	358.34	正常 Normal	二级 L2
13	12:20	121.881 930	31.268 097	79.42	353.52	正常 Normal	一级 L1
14	13:20	121.882 115	31.267 935	59.56	191.71	正常 Normal	
15	14:20					缺失 Missing	
15*	14:20	121.882 466*	31.267 826*	32.59*	233.87*	正常 Normal*	
16	15:20	121.882 823	31.267 772	39.17	121.61	正常 Normal	
17	16:20	121.883 013	31.267 718	57.98	135.96	正常 Normal	
18	17:06	121.883 045	31.267 743	58.45	140.66	冗余 Redundancy	
18*	17:06					已删除 Deleted*	
19	17:20	121.883 045	31.267 743	58.45	140.66	正常 Normal	
20	18:20	121.883 108	31.267 708	66.79	141.47	正常 Normal	一级 L1
21	19:20	121.883 087	31.267 747	61.85	143.70	正常 Normal	一级 L1
22	20:20	121.882 992	31.267 747	53.69	137.01	正常 Normal	
23	21:20					缺失 Missing	
23*	21:20	121.882 187*	31.267 963*	51.03*	189.47*	正常 Normal*	
24	22:20	121.882 187	31.267 963	51.03	189.47	正常 Normal	
25	23:20	121.882 208	31.267 960	48.74	190.44	正常 Normal	

注：\* 为预处理后的数据。  
Note: \* After data preprocessing.

远程终端单元标识（remote terminal unit identification，RTUID）为 1320。序号 5、15、23 数据缺失，序号 18 是冗余数据，先删除冗余数据，缺失的数据采用“三次样条插值法”补充<sup>[13]</sup>。35 号灯浮标的抛设位置（121.882 639°E，31.268 028°N）对应的墨卡托投影坐标系中的坐标用 $(x_0,y_0)$ 表示，将新补充的经纬度数值转化为墨卡托投影坐标系中的坐标 $(x_1,y_1)$ ，计算 $(x_0,y_0)$ 和 $(x_1,y_1)$ 之间的距离（移位距离），以及 $(x_0,y_0)$ 和 $(x_1,y_1)$ 连线相对 $y$ 轴的夹角，并将夹角转化为真方位角，最终形成时距为 1 h 的等时距数据。

2.2 效应分析

效应分析是为了确定季节周期、趋势和数值水平。移位距离时序数据的效应分析如图 1 所示；真方位角时序数据的效应分析如图 2 所示。

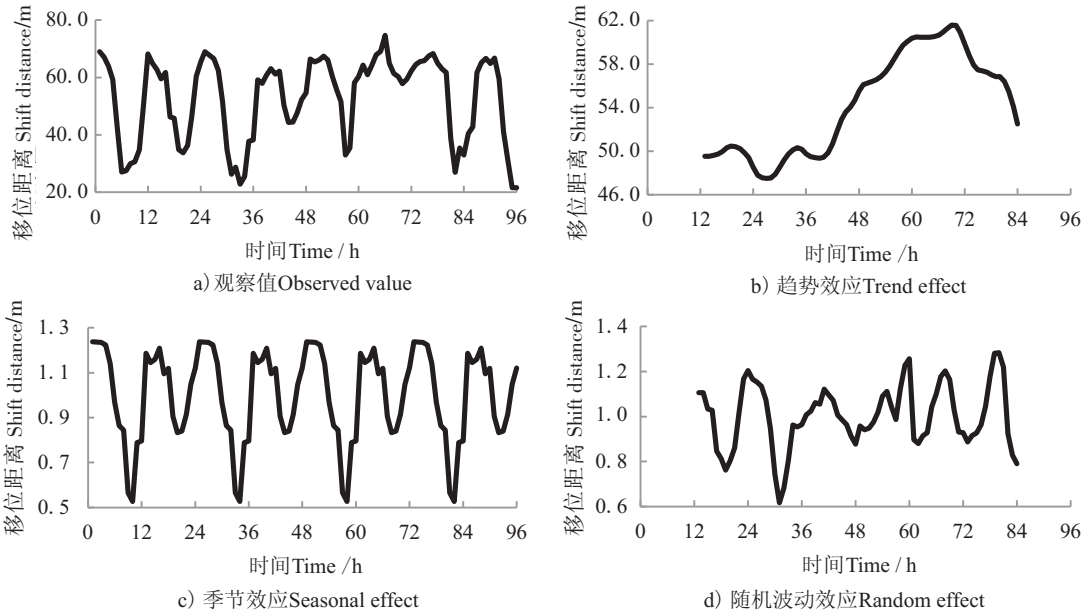


图 1 移位距离时序数据的效应分析图  
Fig.1 Effect analysis diagram of distance data

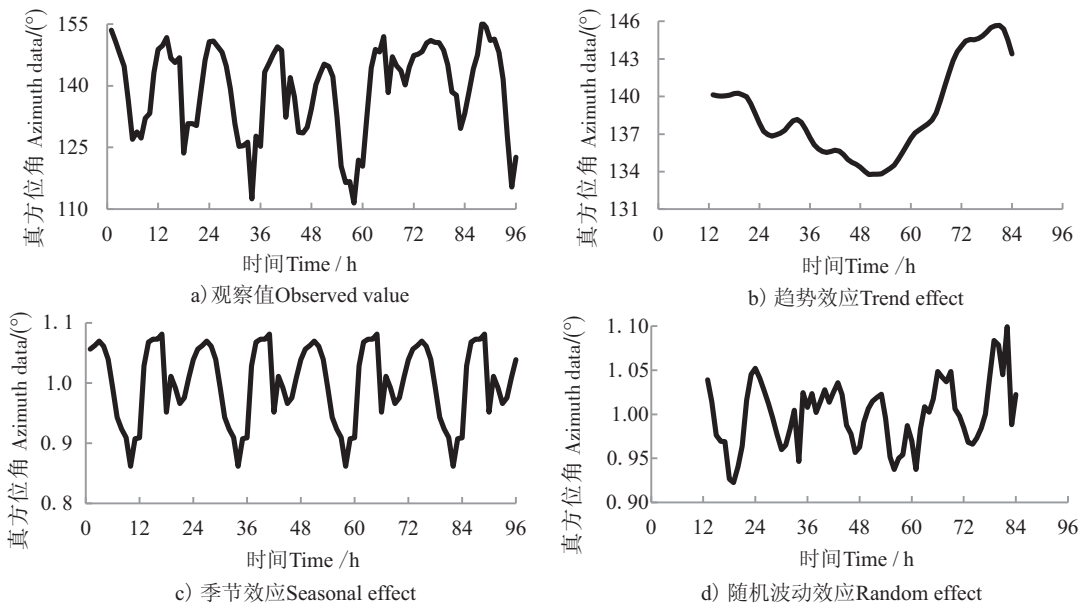


图 2 真方位角时序数据的效应分析图  
Fig.2 Effect analysis diagram of azimuth data

将连续 96 h 的移位距离和真方位角的观察值绘制成点线图，如图 1a 和图 2a 所示。发现交替地出现高峰和低谷，不同日期的高峰和低谷出现的时刻是不同的，但是每 24 h 必然出现 2 次高峰和 2 次低谷，因此周期为 24 h。采用模型  $x_t = T_t \times S_t \times R_t$ 。（ $x_t$  表示  $t$  时刻的观察值； $T_t$  表示  $t$  时刻的趋势值； $S_t$  表示  $t$  时刻的季节值； $R_t$  表示随机波动值。）分解数据的趋势成分、季节成分和随机波动成分，步骤如下：

- 1)  $f$  为周期 ( $f = 24$  h)， $l$  是时序长度 ( $l = 96$ )，计算趋势项为
$$T_t = [0.5 x_{t-(f/2)} + x_{t-(f/2)+1} + \cdots + x_{t+(f/2)-1} + 0.5 x_{t+(f/2)}] / f, t \in [(f/2) + 1, l - (f/2)];$$
- 2)  $S_t = x_t - T_t$ ;
- 3)  $n$  为周期个数 ( $n = l/f = 96/24 = 4$ )，计算季节项为  $g(t) = (\sum_{i=0}^{n-1} S_{t+i \times f}) / f, t \in (1, f)$ ;
- 4) 计算中心化季节项为  $G(t) = g(t) - (\sum_{t=1}^f g(t) / f)$ ;
- 5) 计算周期性季节项  $S_t = G(t \% f)$ ，其中  $\%$  为取余运算；
- 6) 计算随机项为  $R_t = x_t - T_t - S_t$ 。

将  $x_t$ 、 $T_t$ 、 $S_t$ 、 $R_t$  绘制成点线图进行效应分析。由图 1b ~ 图 1d 可知，移位距离效应呈现出“增长 - 衰减”的趋势效应；季节效应呈现固定周期和数值水平；随机波动无明显规律。由图 2b ~ 图 2d 可知，真方位角呈现出“衰减 - 增长 - 衰减”的趋势效应；季节效应呈现固定周期和数值水平；随机波动无明显规律。

2.3 灯浮标位置推算

灯浮标位置推算的流程是：分别对移位距离时序  $\{D_{\text{distance}} t_t\}$  和真方位角时序  $\{Az_t\}$  拟合乘积季节模型，并输出预测值，最后计算灯浮标位置预测值。具体步骤如下。

- 1) 移位距离和真方位角推算： $\nabla^{d_1} \nabla_{S_1}^{D_1} D_{\text{distance}} t_t = \theta_1(B_1) \theta_{1S_1}(B_1) \omega_{1t} / [\phi_1(B_1) \phi_{1S_1}(B_1)]$ ； $\nabla^{d_2} \nabla_{S_2}^{D_2} Az_t = \theta_2(B_2) \theta_{2S_2}(B_2) \omega_{2t} / [\phi_2(B_2) \phi_{2S_2}(B_2)]$ 。
- 2) 计算预测位置的墨卡托投影坐标。设  $(x_0, y_0)$  是抛设位置的墨卡托投影坐标， $(x_t, y_t)$  是预测位置的墨卡托投影坐标， $(x_t, y_t)$  的计算公式为：当  $0^\circ < Az_t \leq 90^\circ$  时， $x_t = x_0 + D_{\text{distance}} t_t \times \sin(Az_t)$ ， $y_t = y_0 + D_{\text{distance}} t_t \times \cos(Az_t)$ ；当  $90^\circ < Az_t \leq 180^\circ$  时， $x_t = x_0 + D_{\text{distance}} t_t \times \sin(180^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 - D_{\text{distance}} t_t \times \cos(180^\circ - Az_t)$ ；当  $180^\circ < Az_t \leq 270^\circ$  时， $x_t = x_0 - D_{\text{distance}} t_t \times \cos(270^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 - D_{\text{distance}} t_t \times \sin(270^\circ - Az_t)$ ；当  $270^\circ < Az_t < 360^\circ$  时， $x_t = x_0 - D_{\text{distance}} t_t \times \sin(360^\circ - Az_t)$ ， $y_t = y_0 + D_{\text{distance}} t_t \times \cos(360^\circ - Az_t)$ 。
- 3) 墨卡托投影坐标  $(x_t, y_t)$  转化为经纬度坐标。设  $(X_{\text{longitude}} t, Y_{\text{latitude}} t)$  是预测位置的经纬度，将  $(x_t, y_t)$  转化为  $(X_{\text{longitude}} t, Y_{\text{latitude}} t)$  的计算公式为： $X_{\text{longitude}} t = x_t \div 20\ 037\ 508.34 \times 180^\circ$ ， $y_t = y_t \div 20\ 037\ 508.34 \times 180^\circ$ ； $Y_{\text{latitude}} t = 180^\circ \div \pi \times (2 \times \arctan(e^{y_t \times \pi \div 180^\circ}) - \pi \div 2)$ 。

以 35 号灯浮标的数据为例，移位距离建模  $M_{\text{ARIMA}}(2, 1, 0) \times (2, 0, 0)_{24}$ ，真方位角建模  $M_{\text{ARIMA}}(5, 1, 2) \times (2, 0, 1)_{24}$ ，预测误差如表 2 所示。移位距离预测值的平均误差为 10.84 m，标准差为 2.852 m；真方位角预测值的平均误差为 8.68°，标准差为 6.725°。然后计算预测位置的墨卡托坐标，并将其转化为经纬度，如表 3。预测位置与实际位置的偏离距离均值为 17.55 m，标准差为 3.953 m。

2.4 移位预警

移位距离实际分布图如图 3 所示。从图 3 可见预测值比实际值平滑，产生滤波的效果。这是由于乘积季节模型将观察值序列中的随机波动剔除，仅对趋势成分和季节成分进行拟合和预测，而移位报警的判定是针对观察值（实际值）的，所以必须对预测值进行修正，使其数值水平接近实际值。在以预测值为中心的上下 4 倍标准差构成的区间内包含了大部分的 actual 值，移位距离的预测值加上 2 倍标准差的修正值，减小了与较高数值水平实际值之间的误差，增大了与较低数值水平实际值之间的误差，但整体上修正值与预测值的误差水平相当。在移位预警中，倾向于发现较高数值水平的移位距



离，利用修正值可以产生较好的移位预警效果，如表 4 所示。

表 2 移位距离和真方位角预测值及预测误差

Tab. 3 The predicted value and error of distance and azimuth

序号 Serial number	移位距离 Distance/m			真方位角 Azimuth/(°)		
	实际值 Actual value	预测值 Predicted value	预测误差 Prediction error	实际值 Actual value	预测值 Predicted value	预测误差 Prediction error
1	66.48	55.28	11.20	140.29	141.67	1.38
2	65.46	55.14	10.32	142.96	144.37	1.42
3	66.11	55.28	10.82	145.23	142.98	2.25
4	67.45	54.59	12.87	144.68	140.44	4.24
5	66.12	53.56	12.56	142.21	135.75	6.46
6	60.45	50.09	10.35	132.39	133.25	0.86
7	55.56	46.77	8.79	120.43	136.44	16.00
8	51.55	47.24	4.31	116.43	137.88	21.46
9	32.95	44.89	11.94	116.66	137.09	20.43
10	35.37	45.16	9.79	111.43	133.55	22.12
11	58.20	46.95	11.25	121.88	137.94	16.06
12	60.33	43.79	16.54	120.42	136.22	15.81
13	64.32	52.29	12.03	132.16	141.02	8.87
14	60.91	52.24	8.66	144.31	139.65	4.66
15	64.09	53.91	10.18	148.86	139.96	8.90
16	67.83	54.36	13.46	148.20	139.25	8.94
17	69.10	56.50	12.59	151.95	139.33	12.62
18	74.67	56.96	17.71	138.34	137.02	1.32
19	64.92	54.49	10.43	147.05	139.26	7.79
20	61.39	52.46	8.93	144.89	140.10	4.78
21	60.29	51.99	8.29	143.63	138.99	4.65
22	57.87	51.34	6.53	140.20	138.14	2.05
23	59.37	50.53	8.84	144.54	137.92	6.62
24	62.26	50.48	11.79	147.33	138.75	8.58

表 3 灯浮标位置的预测值及偏离距离

Tab. 3 Predicted value of light buoy position and deviation distance

序号 Serial number	实际经度 Actual value of longitude/(°)	实际纬度 Actual value of latitude/(°)	预测经度 Predicted value of longitude/(°)	预测纬度 Predicted value of latitude/(°)	偏离距离 Deviation distance /m
1	121.883 098	31.267 702	121.88 2947	31.267 695	16.88
2	121.883 108	31.267 725	121.882 928	31.267 684	20.83
3	121.883 127	31.267 738	121.882 938	31.267 689	21.98
4	121.883 133	31.267 728	121.882 951	31.267 705	20.50
5	121.883 108	31.267 717	121.882 975	31.267 733	15.04
6	121.883 005	31.267 685	121.882 967	31.267 764	11.17
7	121.882 892	31.267 660	121.882 928	31.267 768	14.59
8	121.882 845	31.267 673	121.882 924	31.267 759	14.15
9	121.882 772	31.267 802	121.882 914	31.267 775	16.15
10	121.882 755	31.267 775	121.882 933	31.267 789	19.89
11	121.882 915	31.267 648	121.882 921	31.267 760	14.58
12	121.882 913	31.267 628	121.882 911	31.267 785	20.41
13	121.883 027	31.267 662	121.882 934	31.267 716	12.45
14	121.883 083	31.267 755	121.882 943	31.267 722	16.23
15	121.883 132	31.267 773	121.882 950	31.267 711	21.76
16	121.883 157	31.267 753	121.882 958	31.267 712	22.81
17	121.883 187	31.267 778	121.882 970	31.267 699	26.29
18	121.883 140	31.267 647	121.882 988	31.267 708	18.73
19	121.883 128	31.267 757	121.882 958	31.267 711	19.83
20	121.883 090	31.267 757	121.882 941	31.267 719	17.28
21	121.883 075	31.267 753	121.882 945	31.267 727	14.84
22	121.883 038	31.267 743	121.882 947	31.267 734	10.27
23	121.883 073	31.267 763	121.882 943	31.267 740	14.81
24	121.883 110	31.267 770	121.882 938	31.267 736	19.61

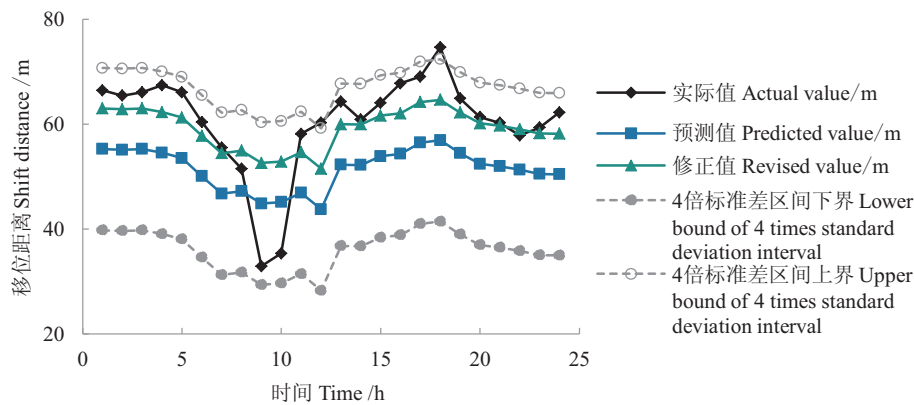


图 3 移位距离实际值分布示意图

Fig. 3 Actual value distribution of shift distance

表 4 灯浮标移位预警

Tab. 4 Forewarning of shift light buoy displacement

序号 Serial number	移位距离实际值 Actual value of distance/m	实际报警级别 Actual alarm level	移位距离预测值 Predicted value of distance/m	移位距离修正值 Revised value of distance/m	依据移位距离修正值预测的 报警级别 Alarm lpredicted by revised value of distance
1	66.48	一级 L1	55.28	63.02	一级 L1
2	65.46	一级 L1	55.14	62.88	一级 L1
3	66.11	一级 L1	55.28	63.02	一级 L1
4	67.45	一级 L1	54.59	62.33	一级 L1
5	66.12	一级 L1	53.56	61.30	一级 L1
6	60.45	一级 L1	50.09	57.83	—
7	55.56	—	46.77	54.51	—
8	51.55	—	47.24	54.98	—
9	32.95	—	44.89	52.63	—
10	35.37	—	45.16	52.90	—
11	58.20	—	46.95	54.69	—
12	60.33	一级 L1	43.79	51.53	—
13	64.32	一级 L1	52.29	60.03	一级 L1
14	60.91	一级 L1	52.24	59.98	—
15	64.09	一级 L1	53.91	61.65	一级 L1
16	67.83	一级 L1	54.36	62.10	一级 L1
17	69.10	一级 L1	56.50	64.24	一级 L1
18	74.67	一级 L1	56.96	64.70	一级 L1
19	64.92	一级 L1	54.49	62.23	一级 L1
20	61.39	一级 L1	52.46	60.20	一级 L1
21	60.29	一级 L1	51.99	59.73	—
22	57.87	—	51.34	59.08	—
23	59.37	—	50.53	58.27	—
24	62.26	一级 L1	50.48	58.22	—

2. 5 模型评价

对长江口深水航道内的 64 座灯浮标连续 192 h 的航标遥测遥控数据进行建模，计算预测位置与实际位置的偏离距离，64 组共计 1 536 个偏离距离数值未见显著差异，均值为 17.84 m，标准差为 4.73 m；移位预警准确率达到 71.8%，满足航标管理者的需求。以上数据表明该模型稳定性和适用性较好。

3 结语

为实现长江口深水航道灯浮标位置预测和移位预警，缩短灯浮标复位的时间，提出了基于乘积季

节模型的灯浮标位置推算方法,对 64 座灯浮标进行建模,计算预测位置和偏离距离,并验证了利用 2 倍标准差修正移位距离预测值后进行移位报警的效果。结果表明:乘积季节模型可以较好预测灯浮标位置,利用修正值进行移位预警效果良好,能够满足航标管理者地需求。下一步将引用神经网络模型,从函数逼近角度,进一步研究提高模型拟合精度和数值预测精度的方法。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 林强. 数字航道监控系统在航标运动规律研究中的应用 [J]. 水运管理, 2010, 32(9): 8-12.
- [2] SCLAVOUNOS P D. Nonlinear impulse of ocean waves on floating bodies [J]. Journal of Fluid Mechanics, 2012, 697: 316-335.
- [3] BOUSCASSE B, COLAGROSSI A, MARRONE S, et al. Nonlinear water wave interaction with floating bodies in SPH [J]. Journal of Fluids and Structures, 2013, 42: 112-129.
- [4] LIU Z, TENG B, NING D Z, et al. Wave-current interactions with three-dimensional floating bodies [J]. Journal of Hydrodynamics: Ser B, 2010, 22(2): 229-240.
- [5] 李昇智, 乔建忠, 林树宽, 等. 基于 GPS 轨迹数据的混合多步 Markov 位置预测 [J]. 东北大学学报 (自然科学版). 2017, 38(12): 1686-1690.
- [6] 吕明琪, 陈岭, 陈根才. 基于自适应多阶 Markov 模型的位置预测 [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(10): 1764-1770.
- [7] QIAO S, SHEN D, WANG X. A self-adaptive parameter selection trajectory prediction approach via hidden markov models [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(1): 284-296.
- [8] SONG L, MENG F, YUAN G. Moving object location prediction algorithm based on markov model and trajectory similarity [J]. Journal of Computer Applications, 2016, 36(1): 39-43, 65.
- [9] 乔少杰, 金琨, 韩楠, 等. 一种基于高斯混合模型的轨迹预测算法 [J]. 软件学报, 2015, 26(5): 1048-1063.
- [10] 肖延辉, 王欣, 冯文刚, 等. 基于长短记忆型卷积神经网络的犯罪地理位置预测方法 [J]. 数据分析与知识发现, 2018, 2(10): 15-20.
- [11] 王燕. 时间序列分析: 基于 R [M]. 北京: 人民出版社, 2010.
- [12] 吴喜之, 刘苗. 应用时间序列分析 R 语言陪同 [M]. 2 版. 机械工业出版社, 2017.
- [13] 孙华丽, 张政治. 全球定位系统卫星位置计算中插值方法精度分析 [J]. 导航定位学报, 2013, 1(3): 93-97.
- [14] 甘浪雄, 徐才云, 周春辉, 等. 基于卡尔曼滤波和 ISODATA 的航标漂移预警方法 [J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(4): 26-31.
- [15] 林艺芳, 李汪彪, 苏伟达, 等. 一种航标定位的 GPS 异常点快速判别及剔除方法 [J]. 现代电子技术, 2008, 31(17): 4-6.
- [16] 彭天堂. 浮标位置监测及监测数据处理 [J]. 机电工程技术, 2011(7): 63-65.
- [17] 顾毛弟. 对上海航标处辖区灯浮标被撞、移位和漂失抢修事故的统计分析 [C] //中国航海学会航标专业委员会沿海航标学组、中国航海学会航标专业委员会内河航标学组、中国航海学会航标专业委员会沿海、内河航标学组联合会学术交流论文集. 北京: 中国航海学会, 2003: 256-262.
- [18] 金奕新. 关于灯浮标移位、漂失等情况分析与对策的探讨 [J]. 珠江水运, 2016(19): 54-55.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)